



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Off nl gungsschrift
⑩ DE 195 06 959 A 1

⑤1 Int. Cl.⁸:
G 02 F 1/025
G 02 F 1/19
G 02 F 1/39
G 02 B 6/12
H 01 S 3/18

②1 Aktenzeichen: 195 06 959.5
②2 Anmeldetag: 28. 2. 95
④3 Offenlegungstag: 29. 8. 98

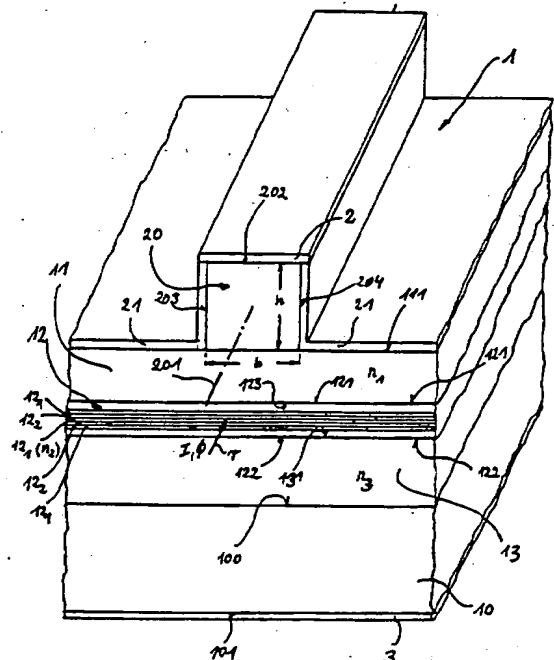
DE 195 06 959 A 1

⑦1 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:
Schimpe, Robert, Dr., 85521 Ottobrunn, DE

⑤4 Integriert optischer Rippenwellenleiter mit einer einen steuerbaren komplexen Brechungsindex aufweisenden wellenleitenden Schicht

⑤7 Integriert optischer Rippenwellenleiter des obengenannten Typs, bei dem die Beeinflussung des in der wellenleitenden Schicht (12) geführten Lichts unabhängig von der Polarisation des eingestrahlichten Lichts erfolgt und diese Unabhängigkeit dadurch erreicht wird, daß die wellenleitende Schicht (12) zumindest eine zugverspannte Quantumwell-Schicht (12₁) aufweist, und diese Schicht (12) und die Rippe (20) derart dimensioniert sind, daß eine optische Verstärkung für eine TM-Mode größer als für eine TE-Mode und eine von der Rippe (20) bewirkte Wellenführung dieses Lichts für die TE-Mode stärker als für die TM-Mode ist. Eine Alternative dazu ist ein Rippenwellenleiter, bei welchem die wellenleitende Schicht so dimensioniert ist, daß die Verstärkung im wesentlichen unabhängig von einer Polarisation des eingekoppelten Lichts ist und die Rippe entlang ihrer Längsachse sich taperförmig verbreitert.



DE 195 06 959 A 1

Die Erfindung betrifft einen integriert optischen Rippenwellenleiter mit einer einen steuerbaren komplexen Brechungsindex aufweisenden wellenleitenden Schicht nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Ein derartiger Rippenwellenleiter ist aus Ch. Holtman et al: "Polarization intensive bulk rich-type semiconductor optical amplifiers at 1,3 μm wavelength", Yokohama, Japan, 4.-6. July 1993, Paper Sub2-1, S. 8-11 (1993) bekannt. Bei diesem Wellenleiter besteht die wellenleitende Schicht homogen aus InGaAsP mit einer Gap-Wellenlänge von 1,3 μm und weist eine Dicke zwischen 150 nm und 400 nm auf. Dieser bekannte Rippenwellenleiter wird vorzugsweise als polarisationsunempfindlicher Verstärker für die Wellenlänge 1,3 μm verwendet. Die Wellenführung des in diesem Rippenwellenleiter geführten Lichts ist derart anisotrop, daß sie parallel zu den Flachseiten der wellenleitenden Schicht und senkrecht zur bestimmten Ausbreitungsrichtung des im Wellenleiter geführten Lichts (Wellenführung der TE-Komponente des geführten Lichts) schwächer als senkrecht zu den Flachseiten (Wellenführung der TM-Komponente des geführten Lichts) ist. Die relativ schwache Wellenführung bedingt, daß die Stärke der Wellenführung u. a. von der Verteilung der elektrischen Ladungsträger in der aktiven Schicht abhängt.

Der in Anspruch 1 aber auch Anspruch 2 angegebene erfindungsgemäße Rippenwellenleiter hat jeweils den Vorteil, daß die Wellenführung parallel zu den Flachseiten und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des geführten Lichts dergestalt ist, daß die Beeinflussung des geführten Lichts durch den Wellenleiter weitgehend unabhängig von der Polarisation des eingestrahnten Lichts erfolgt. Damit ist der erfindungsgemäße Rippenwellenleiter vorteilhaft für polarisationsunabhängige optische Verstärker geeignet. Er ist darüberhinaus vorteilhaft zur Realisierung polarisationsunabhängiger optischer Modulatoren, Filter und Richtkoppler einsetzbar.

Als polarisationsunabhängiger optischer Verstärker kann der erfindungsgemäße Rippenwellenleiter vorteilhaft eingesetzt werden als sendeseitiger Boosterverstärker, als Zwischenverstärker in einer Übertragungsstrecke und als Empfängervorverstärker.

Wichtig beim erfindungsgemäßen Rippenwellenleiter ist die Verwendung einer Diodenstruktur und deren Herstellverfahren, die eine hohe Zuverlässigkeit und Kompatibilität mit bereits benutzten Herstellungsprozessen für Halbleiterlaserdioden bieten.

Die bei herkömmlichen Laserdioden mit Rippenwellenleitern auftretende Polarisationsabhängigkeit der optischen Verstärkung ist beim erfindungsgemäßen Rippenwellenleiter vorteilhafterweise eliminiert bzw. in Grenzen einstellbar gemacht. Überdies ist bei dem erfindungsgemäßen Rippenwellenleiter vorteilhafterweise ein stark führender Rippenwellenleiter realisiert, wie er bei Laserdioden üblich ist.

Es sei darauf hingewiesen, daß bisher bekannte polarisationsunabhängige Verstärker Schichtstrukturen mit polarisationsunabhängiger Verstärkung oder allenfalls mit einer parallel zu den Flachseiten der wellenleitenden Schicht und senkrecht zur bestimmten Ausbreitungsrichtung leicht höheren Verstärkung verwenden und daß aus Thijs et al, "High performance 1300 nm polarization insensitive laser amplifiers employing both tensile and compressively strained quantum wells in a single active layer" Proc. Europ. Conf. Opt. Commun. '92 (ECOC 92), Pt.3, p. 911, Berlin, 1992 in Buried Hetero-

struktur-Wellenleiter mit polarisationsunabhängiger Wellenführung bekannt ist, der einen polarisationsunabhängigen optischen Verstärker realisiert.

Bevorzugte und vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Rippenwellenleiters gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Die Erfindung wird in der nachfolgenden Beschreibung anhand der Figuren beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 in perspektivischer Darstellung und ausschnittsartig ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Rippenwellenleiters mit einer Rippe konstanter Breite, und

Fig. 2 in der gleichen Darstellung ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Rippenwellenleiters mit taperförmig sich verbreiternder Rippe.

Die Figuren sind schematisch und nicht maßstäblich.

Bei dem in der Fig. 1 dargestellten integriert optischen Rippenwellenleiter ist auf einer Oberfläche 100 eines Substrats 10 aus Halbleitermaterial eines Leitfähigkeitstyps, beispielsweise n-dotiertes InP, eine erste Schicht 13 aus Halbleitermaterial des gleichen Leitfähigkeitstyps, beispielsweise n-dotiertes InP, aufgebracht.

Auf der vom Substrat 10 abgekehrten Oberfläche 131 der Schicht 13 ist die den bestimmten, durch Ladungsträgerinjektion steuerbaren komplexen Brechungsindex aufweisenden wellenleitende Schicht 12 aufgebracht. Diese wellenleitende Schicht 12 weist eine der Oberfläche 131 der Schicht 13 zugekehrte Flachseite 122 und eine von der Schicht 13 abgekehrte Flachseite 121 auf.

Auf der von der Schicht 13 abgekehrten Flachseite 121 der wellenleitenden Schicht 12 ist eine Schicht 11 aus Halbleitermaterial mit einer im Vergleich zum Substrat 10 entgegengesetzten Leitfähigkeit, beispielsweise p-dotiertes InP, aufgebracht.

Auf der von der wellenleitenden Schicht 12 abgekehrten Oberfläche 111 der Schicht 11 ist eine Rippe 20 aus einem Halbleitermaterial des gleichen Leitfähigkeitstyps wie die Schicht 11, beispielsweise p-dotiertes InP, aufgebracht.

Die Schicht 13 bildet das an die dem Substrat 10 zugekehrte Flachseite 122 der wellenleitenden Schicht 12 angrenzende Halbleitermaterial und die Schicht 11 das an die vom Substrat 10 abgekehrten Flachseite 121 der wellenleitenden Schicht 12 angrenzende Halbleitermaterial.

Der Realteil n_2 des steuerbaren komplexen Brechungsindex der wellenleitenden Schicht 12 ist größer als ein reeller Brechungsindex n_1 der Schicht 11 und größer als ein reeller Brechungsindex n_2 der Schicht 13. Der reelle Brechungsindex n_1 der Schicht 11 kann gleich dem reellen Brechungsindex n_2 der Schicht 13 sein. Die Schichten 11 und 13 können wie die wellenleitende Schicht 12 einen komplexen Brechungsindex aufweisen. Ihr reeller Brechungsindex ist dann der Realteil des komplexen Brechungsindex.

In die wellenleitende Schicht 12 ist beispielsweise durch die dem Betrachter der Fig. 1 zugekehrte Stirnfläche 123 der wellenleitenden Schicht 12, auf die der Pfeil r zeigt, Licht einkoppelbar, das in der wellenleitenden Schicht 12 im wesentlichen zwischen deren Flachseiten 121 und 122 geführt wird.

Der komplexe Brechungsindex der wellenleitenden Schicht 12 ist durch eine Einrichtung zur Steuerung dieses Brechungsindex durch Ladungsträger steuerbar, so daß die Intensität I und/oder die Phase Φ des in der

wellenleitenden Schicht 12 geführten Lichts veränderbar ist/sind.

Die Einrichtung zur Steuerung des komplexen Brechungsindex weist einen auf der vom Substrat 10 abgekehrten Oberfläche 202 der Rippe 20 angeordneten elektrischen Kontakt 2 und einen auf der von der wellenleitenden Schicht 12 abgekehrten Unterseite 101 des Substrats 10 angeordneten elektrischen Kontakt 3 auf, an die eine elektrische Steuerspannung zur Steuerung des komplexen Brechungsindex n_2 anlegbar ist.

Die Rippe 20 ist auf der vom Substrat 10 abgekehrten Flachseite 121 der wellenleitenden Schicht 12 angeordnet, was aber nicht bedeutet, daß die Rippe 20 die wellenleitende Schicht 12 kontaktieren muß. Beim dargestellten Beispiel ist die Rippe 20 durch die Schicht 11 von der wellenleitenden Schicht 12 getrennt.

Die Rippe 20 weist eine zu der Flachseite 121 parallele und eine Ausbreitungsrichtung des in der wellenleitenden Schicht 12 geführten Lichts bestimmende Längsachse 201 und eine bestimmte Breite b auf, wobei die Rippe 20 eine im wesentlichen auf deren Breite b begrenzte Wellenführung des in der wellenleitenden Schicht 12 geführten Lichts bewirkt. Eine von der Oberfläche 111 der Schicht 11 gemessene Höhe der Rippe 20 ist mit h bezeichnet.

Die Längsachse 201 der Rippe 20 ist in der Richtung des Pfeiles r ausgerichtet, der die Ausbreitungsrichtung des in die wellenleitende Schicht 12 eingekoppelten und in dieser Schicht 12 geführten Lichts angibt.

Die wellenleitende Schicht 12 und die Rippe 20 sind derart aufeinander abgestimmt, daß die durch Ladungsträgerinjektion erzeugte Verstärkung des im Rippenwellenleiter 1 geführten Lichts im wesentlichen unabhängig von der Polarisation dieses Lichts ist.

Die Oberfläche 111 der Schicht 11 und Seitenflächen 203 und 204 der Rippe 20 sind mit einer Schicht 21 aus elektrisch isolierendem Material bedeckt, auf die elektrische Zuleitungen zum Kontakt 2 auf der Rippe 20 aufgebracht werden können.

Erfindungsgemäß weist die wellenleitende Schicht 12 zumindest eine zugverspannte Quantum-well-Schicht 12₁ auf und ist so dimensioniert, daß in der wellenleitenden Schicht 12 die durch Ladungsträger erzeugte Veränderung der Intensität I und/oder Phase Φ des in dieser Schicht 12 geführten Lichts derart anisotrop ist, daß sie senkrecht zu den Flachseiten 121 und 122 höher als parallel zu diesen und senkrecht zur bestimmten Ausbreitungsrichtung r ist, und überdies ist die Rippe 20 in Bezug auf diese wellenleitende Schicht 12 derart dimensioniert, daß die von dieser Rippe 20 bewirkte Wellenführung des geführten Lichts derart anisotrop ist, daß sie parallel zu den Flachseiten 121 und 122 und senkrecht zur bestimmten Ausbreitungsrichtung r stärker als senkrecht zu den Flachseiten 121 und 122 ist, so wie es bei einem stark führenden Rippenwellenleiter, wie er bei Laserdioden üblich ist, der Fall ist.

Die wellenleitende Schicht 12 könnte allein aus der zugverspannten Quantum-well-Schicht 12₁ bestehen.

In vielen Fällen ist es jedoch vorteilhaft, wenn die wellenleitende Schicht nicht aus einer zugverspannten Quantum-well-Schicht 12₁ allein besteht, sondern wenigstens eine druckverspannte Quantum-well-Schicht 12₂ aufweist. Zweckmäßigerweise weist die wellenleitende Schicht 12 abwechselnd mehrere zug- und druckverspannte Quantum-well-Schichten 12₁ und 12₂ auf, wobei es nicht auf die Reihenfolge ankommt.

Ohne Beschränkung der Allgemeinheit sind bei dem in der Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel drei zug-

verspannte Quantum-well-Schichten 12₁ vorhanden, die durch zwei druckverspannte Quantum-well-Schichten 12₂ voneinander getrennt sind. In dem Fall, daß die wellenleitende Schicht 12 abwechselnd mehrere zug- und druckverspannte Quantum-well-Schichten 12₁ und 12₂ aufweist, ist es zweckmäßig, wenn die wellenleitende Schicht 12 derart dimensioniert ist, daß die Verstärkung des in dieser Schicht 12 geführten Lichts unabhängig von einer Polarisation des in die Schicht 12 eingekoppelten Lichts ist. Eine derartige Dimensionierung ist ohne weiteres möglich.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 unterscheidet sich vom Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 lediglich dadurch, daß sich die Breite b der Rippe 20 entlang ihrer Längsachse 201, vorzugsweise in der Ausbreitungsrichtung r des in der wellenleitenden Schicht 12 geführten Lichts taperförmig verbreitert.

Wie das Beispiel nach Fig. 1 kann das Beispiel nach Fig. 2 ein polarisationsunabhängiger Halbleiterverstärker mit aktiver wellenleitender Schicht mit polarisationsunabhängiger Verstärkung sein. Da die Rippe beim Beispiel nach Fig. 2 taperförmig ist und die Wellenführung nur für schmale Rippen polarisationsabhängig ist, für breitere Rippen dagegen ähnlich wie bei einem Buried-Heterostruktur-Wellenleiter polarisationsunabhängig ist, verhält sich die Ausführungsform nach Fig. 2 weitgehend polarisationsunabhängig. Durch Integration einer Mikrooptik, die aus einem passiven Wellenleiter mit Mikrooptik, wie z. B. ein Taper, bestehen kann, kann das optische Feld statt des elliptisch verbreiterten Querschnitts am verbreiterten Ende der Rippe wieder einen kreisförmigen Querschnitt erhalten.

Der erfindungsgemäße Rippenwellenleiter 1 ist besonders für optische Übertragungssysteme mit einer Übertragungswellenlänge von 1,3 μm , insbesondere als optischer Verstärker geeignet.

Patentansprüche

1. Integriert optischer Rippenwellenleiter (1) mit
 - einer einen bestimmten, durch elektrische Ladungsträger steuerbaren komplexen Brechungsindex aufweisenden wellenleitenden Schicht (12) mit zwei voneinander abgekehrten Flachseiten (121, 122), an deren jede je ein Halbleitermaterial (11, 13) mit einem im Vergleich zum Realteil (n_2) des komplexen Brechungsindex der wellenleitenden Schicht (12) niedrigeren reellen Brechungsindex (n_1 , n_3) und voneinander verschiedenen Leitfähigkeitstyps (p , n) angrenzt, wobei in die wellenleitende Schicht (12) Licht einkoppelbar und das eingekoppelte Licht in der wellenleitenden Schicht (12) im wesentlichen zwischen deren Flachseiten (121, 122) geführt ist, mit
 - zumindest einer auf einer Flachseite (121) der wellenleitenden Schicht (12) angeordneten Rippe (20) mit einer zu dieser Flachseite (121) parallelen und eine Ausbreitungsrichtung (r) des in der wellenleitenden Schicht (12) geführten Lichts bestimmenden Längsachse (201) und einer bestimmten Breite (b), wobei die Rippe (20) eine im wesentlichen auf deren Breite (b) begrenzte Wellenführung des in der wellenleitenden Schicht (12) geführten Lichts bewirkt und mit
 - einer Einrichtung (2, 3) zur Steuerung des komplexen Brechungsindex in der wellenlei-

tenden Schicht (12) durch elektrische Ladungsträger, so daß die Intensität (I) und/oder Phase (Φ) des in der wellenleitenden Schicht (12) geführten Lichts veränderbar ist/sind,

— wobei die wellenleitende Schicht (12) und die Rippe (20) derart aufeinander abgestimmt sind, daß die durch elektrische Ladungsträger erzeugte Veränderung der Intensität (I) und/oder Phase (Φ) des im Rippenwellenleiter (1) geführten Lichts im wesentlichen unabhängig von der Polarisation dieses Lichts ist,

dadurch gekennzeichnet,

— daß die wellenleitende Schicht (12) zumindest eine zugverspannte Quantumwell-Schicht (12₁) aufweist und so dimensioniert ist, daß in der wellenleitenden Schicht (12) die durch elektrische Ladungsträger erzeugte Veränderung der Intensität (I) und/oder Phase (Φ) des im Rippenwellenleiter (1) geführten Lichts derart anisotrop ist, daß sie senkrecht zu den Flachseiten (121, 122) größer als parallel zu diesen (121, 122) und senkrecht zur bestimmten Ausbreitungsrichtung (r) ist, und

— daß die Rippe (20) in bezug auf diese wellenleitende Schicht (12) derart dimensioniert ist, daß die von dieser Rippe (20) bewirkte Wellenführung des geführten Lichts derart anisotrop ist, daß sie parallel zu den Flachseiten (121, 122) und senkrecht zur bestimmten Ausbreitungsrichtung (r) stärker als senkrecht zu den Flachseiten (121, 122) ist.

2. Integriert optischer Rippenwellenleiter (1) mit

— einer einen bestimmten, durch elektrische Ladungsträger steuerbaren komplexen Brechungsindex aufweisenden wellenleitenden Schicht (12) mit zwei voneinander abgekehrten Flachseiten (121, 122), an deren jede je ein Halbleitermaterial (11, 13) mit einem im Vergleich zum Realteil (n_2) des komplexen Brechungsindex der wellenleitenden Schicht (12) niedrigeren reellen Brechungsindex (n_1 , n_3) und voneinander verschiedenen Leitfähigkeitstyps (p, n) angrenzt, wobei in die wellenleitende Schicht (12) Licht einkoppelbar und das eingekoppelte Licht in der wellenleitenden Schicht (12) im wesentlichen zwischen deren Flachseiten (121, 122) geführt ist, mit

— zumindest einer auf einer Flachseite (121) der wellenleitenden Schicht (12) angeordneten Rippe (20) mit einer zu dieser Flachseite (121) parallelen und eine Ausbreitungsrichtung (r) des in der wellenleitenden Schicht (12) geführten Lichts bestimmenden Längsachse (201) und einer bestimmten Breite (b), wobei die Rippe (20) eine im wesentlichen auf deren Breite (b) begrenzte Wellenführung des in der wellenleitenden Schicht (12) geführten Lichts bewirkt, und mit

— einer Einrichtung (2, 3) zur Steuerung des komplexen Brechungsindex in der wellenleitenden Schicht (12) durch elektrische Ladungsträger, so daß die Intensität (I) und/oder Phase (Φ) des in der wellenleitenden Schicht (12) geführten Lichts veränderbar ist/sind,

dadurch gekennzeichnet,

daß die wellenleitende Schicht (12) abwechselnd mehrere zug- und druckverspannte Quantumwell-Schichten (12₁, 12₂) aufweist und derart dimensioniert

ist, daß die durch elektrische Ladungsträger erzeugte Veränderung der Intensität (I) und/oder Phase (Φ) des in der wellenleitenden Schicht (12) geführten Lichts im wesentlichen unabhängig von einer Polarisation des eingekoppelten Lichts ist, und

daß sich die Rippe (20) entlang ihrer Längsachse (201) taperförmig verbreitert.

3. Wellenleiter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die wellenleitende Schicht (12) zumindest eine druckverspannte Quantumwell-Schicht (12₂) aufweist.

4. Wellenleiter nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die wellenleitende Schicht (12) abwechselnd mehrere zug- und druckverspannte Quantumwell-Schichten (12₁, 12₂) aufweist.

5. Wellenleiter nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die wellenleitende Schicht (12) derart dimensioniert ist, daß die durch elektrische Ladungsträger erzeugte Veränderung der Intensität (I) und/oder Phase (Φ) des in der wellenleitenden Schicht (12) geführten Lichts im wesentlichen unabhängig von einer Polarisation des eingekoppelten Lichts ist.

6. Wellenleiter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Rippe (20) entlang ihrer Längsachse (201) taperförmig verbreitert.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

